

Код МРНТИ 52.35.29

Н. М. Замалиев, *В. Н. Долгоносков, И. М. Шмидт-Федотова, А. Н. Шуленин
Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса
Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ СЛОИСТЫХ И НАРУШЕННЫХ ПОРОД КАРАГАНДИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА

Аннотация. В статье обоснованы параметры анкерного крепления подготовительных выработок в слоистых и тектонически нарушенных породах Карагандинского угольного бассейна. По результатам геолого-структурного анализа, натурных наблюдений и расчетов определены высота свода естественного равновесия, рациональные длина и шаг анкеров, распределение нагрузки между уровнями крепи. Установлено, что при высоте свода более 1,3 м, развитой трещиноватости и слабых алевролито-аргиллитовых прослоях требуется двухуровневое анкерование. Длина анкеров составляет 2,0–2,6 м, шаг – 0,8–1,2 м. Такая система снижает раскрытие межслоевых трещин на 32–45%, прогиб кровли на 26–38% и вероятность разрушения в 2,6–3,1 раза. Результаты применимы при разработке паспортов крепления и адаптации анкерования к геомеханическим условиям.

Ключевые слова: анкерная крепь, Карагандинский угольный бассейн, устойчивость кровли, свод естественного равновесия, двухуровневая крепь, длина анкеров, шаг анкеров, геомеханические условия.

Қарағанды көмір бассейнінің қабатты және бұзылған жыныстарында дайындық тау-кен қазбаларын анкерлік бекітудің параметрлерін негіздеу

Аннотация. Мақалада Қарағанды көмір бассейнінің қабатты және тектоникалық бұзылған жыныстарындағы дайындық қазбаларын анкерлік бекіту параметрлері негізделген. Геологиялық-құрылымдық талдау, натурлық бақылаулар және есептеулер бойынша табиғи тепе-теңдік күмбезінің биіктігі, анкерлердің ұтымды ұзындығы мен қадамы, сондай-ақ бекітпе деңгейлері арасындағы жүктеменің таралуы анықталды. Күмбез биіктігі 1,3 м-ден асқанда, жарықшақтылық дамыған және әлсіз алевролит-аргиллит қабатшалары болған жағдайда екі деңгейлі анкерлеу қажет. Анкерлердің ұзындығы 2,0–2,6 м, орнату қадамы 0,8–1,2 м. Бұл жүйе қабатшалық жарықтардың ашылуын 32–45%, төбе иілуін 26–38% азайтып, бұзылу ықтималдығын 2,6–3,1 есе төмендетеді. Нәтижелер бекіту паспорттарын әзірлеуге арналған.

Түйінді сөздер: анкерлік бекітпе, Қарағанды көмір бассейні, төбе тұрақтылығы, табиғи тепе-теңдік күмбезі, екідеңгейлі бекітпе, анкер ұзындығы, анкер қадамы, геомеханикалық жағдайлар.

Substantiation of rock bolt support parameters for development workings in layered and disturbed rock masses of the Karaganda coal basin

Abstract. The article substantiates rock-bolt support parameters for development workings in layered and tectonically disturbed rocks of the Karaganda Coal Basin. Geological-structural analysis, field observations, and engineering calculations were used to determine the natural equilibrium arch height, rational bolt length and spacing, and load distribution between support levels. Two-level bolting is required when the arch height exceeds 1.3 m, fracturing is developed, and weak siltstone-mudstone interlayers are present. Rational bolt length is 2.0–2.6 m, with spacing of 0.8–1.2 m. The system reduces interlayer crack opening by 32–45%, roof deflection by 26–38%, and failure probability by 2.6–3.1 times. The results can be used in support design documentation.

Key words: rock bolt support, Karaganda Coal Basin, roof stability, natural equilibrium arch, two-level support, bolt length, bolt spacing, geomechanical conditions.

Введение

Увеличение глубины разработки в Карагандинском угольном бассейне сопровождается ростом горного давления, трещинообразованием и снижением естественной несущей способности кровли. Наиболее опасным механизмом является межслоевое расслоение алевролито-аргиллитовых толщ: при ослабленном сцеплении между слоями формируются зоны отрыва, клиновидные блоки и свод естественного равновесия, параметры которого зависят от пролета выработки, прочности и структурной нарушенности массива [1, 2].

Анкерная крепь объединяет отдельные слои в армированную несущую систему и ограничивает раскрытие трещин. Ее эффективность определяется соответствием длины, шага и схемы анкерования фактической высоте нарушенной зоны. Цель работы – разработать расчетно-прикладной подход к выбору одноуровневой или двухуровневой системы на основе геомеханической модели, несущей способности анкеров и результатов наблюдений [3, 4].

Методы и материалы

Геомеханическая модель кровли

Устойчивость кровли оценивалась по схеме формирования свода естественного равновесия (рис. 1).

В модели потеря межслоевого сцепления приводит к образованию криволинейной поверхности разрушения, а высота потенциально неустойчивой зоны определяется шириной выработки и коэффициентом структурной нарушенности [3].

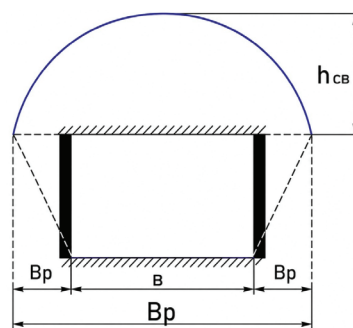


Рис. 1. Расчетная схема определения высоты свода естественного равновесия.

Сурет 1. Табиғи тепе-теңдік күмбезінің биіктігін анықтауға арналған есептік сұлба.

Figure 1. Calculation scheme for determining the height of the natural equilibrium arch.

Высота свода определяется по выражению (1):

$$h_{св} = k \cdot B, \quad (1)$$

где $h_{св}$ – высота свода естественного равновесия, м;

k – коэффициент структурной нарушенности, безразмерный;

B – ширина выработки по почве, м.

Для выработок шириной 4,5–5,2 м расчетная высота свода составляет 1,2–2,1 м, поэтому в армируемую зону необходимо включать 2–4 слоя кровли.

Условие межслоевого разрушения принимается в виде (2):

$$\tau_d > \tau_{кр}, \quad (2)$$

где τ_d – действующее касательное напряжение на межслоевом контакте, МПа;

$\tau_{кр}$ – критическое межслоевое сцепление, определяемое лабораторными испытаниями, МПа.

Схемы анкерного крепления

Рассмотрены одноуровневая и двухуровневая схемы крепления (рис. 2).

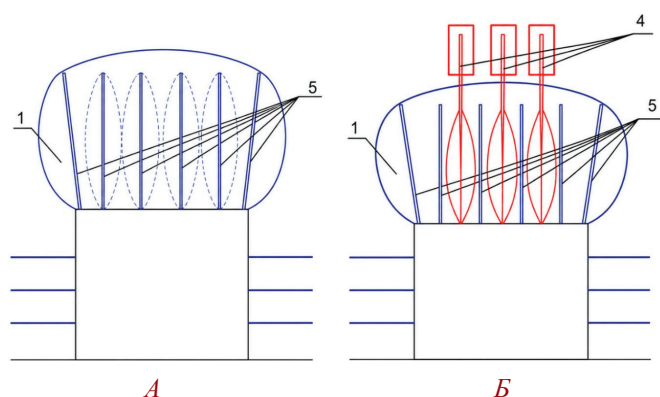


Рис. 2. Одноуровневая (А) и двухуровневая (Б) схемы крепления кровли: 1 – зона упрочнения анкерами; 4 – канатные анкеры; 5 – сталеполимерные анкеры.

Сурет 2. Қазба төбесін бірденгейлі (А) және екіденгейлі (Б) бекіту сұлбалары: 1 – анкерлермен бекемделген аймақ; 4 – арқанды анкерлер; 5 – болат-полимерлі анкерлер.

Figure 2. Single-level (A) and two-level (B) roof-support schemes: 1 – bolt-reinforced zone; 4 – cable bolts; 5 – steel-polymer bolts.

Одноуровневая схема эффективна при мощных однородных слоях и невысокой трещиноватости. Двухуровневая схема формирует поверхностный и глубинный силовые горизонты, связывает слабые контакты и обеспечивает совместную работу нескольких слоев кровли [4].

Двухуровневая схема применяется при высоте свода более 1,3 м, развитой трещиноватости, наличии слабых алевролитов-аргиллитовых прослоев и в зоне влияния очистных работ.

Расчеты выполнены по литолого-структурной модели породного разреза (рис. 4), учитывающей мощность и прочность слоев, а также положение ослабленных контактов [5].

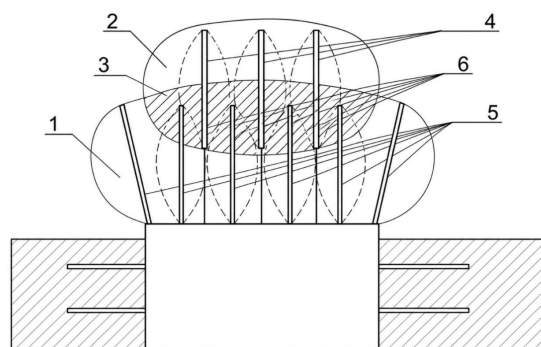


Рис. 3. Двухуровневое крепление кровли: 1 – зона упрочнения сталеполимерными анкерами; 2 – зона упрочнения канатными анкерами; 3 – соединение зон; 4 – канатные анкеры; 5 – сталеполимерные анкеры; 6 – зона максимального упрочнения.

Сурет 3. Қазба төбесін екіденгейлі бекіту: 1 – болат-полимерлі анкерлермен бекемделген аймақ; 2 – арқанды анкерлермен бекемделген аймақ; 3 – аймақтардың байланысы; 4 – арқанды анкерлер; 5 – болат-полимерлі анкерлер; 6 – максималды бекемдеу аймағы.

Figure 3. Two-level roof support: 1 – zone reinforced by steel-polymer bolts; 2 – zone reinforced by cable bolts; 3 – connection of the zones; 4 – cable bolts; 5 – steel-polymer bolts; 6 – maximum reinforcement zone.

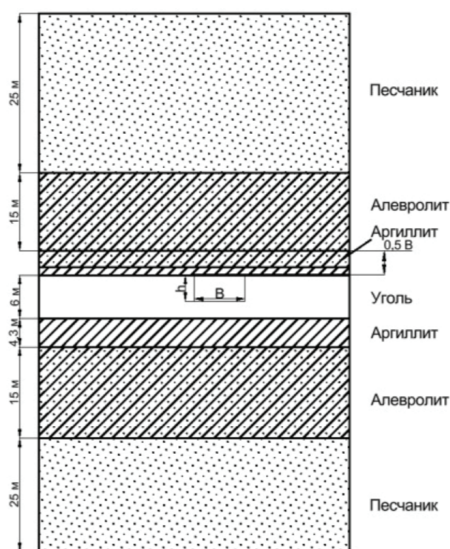


Рис. 4. Расчетная схема определения параметров крепления горной выработки.

Сурет 4. Тау-кен қазбасының бекіту параметрлерін анықтауға арналған есептік сұлба.

Figure 4. Calculation scheme for determining roadway support parameters.

Разрез представлен чередованием алевролитов прочностью 12–25 МПа, аргиллитов 10–20 МПа и песчаников 30–45 МПа. Мощность слоев составляет 0,1–1,5 м, межслоевое сцепление – 0,08–0,25 МПа. Наиболее слабые контакты залегают на расстоянии 1,2–1,8 м от кровли, поэтому минимальная длина анкера определяется выражением (3):

$$L_a \geq h_{cb} + \Delta, \quad (3)$$

где L_a – минимальная расчетная длина анкера, м;
 h_{cb} – высота свода естественного равновесия, м;
 Δ – запас длины для закрепления анкера в устойчивом слое, м; принимается $\Delta = 0,3–0,5$ м.

Для рассматриваемых условий расчетная длина анкеров составляет 1,8–2,4 м.

Расчет нагрузки, несущей способности и шага анкеров.

Расчет выполнялся по инженерным номограммам с проверкой нагрузки на один анкер, его несущей способности и допустимого шага установки.

Расчетная погонная нагрузка, приходящаяся на одну анкерную линию в продольном направлении выработки, определяется по выражению (4):

$$P_a = \frac{\gamma \cdot h_{cb} \cdot B}{n}, \quad (4)$$

где P_a – расчетная погонная нагрузка, приходящаяся на одну анкерную линию, кН/м;

γ – удельный вес пород кН/м³;

h_{cb} – высота свода, м;

B – ширина выработки, м;

n – количество анкеров в поперечном ряду, безразмерная величина.

Полученный диапазон расчетной погонной нагрузки составляет 30–85 кН/м.

Несущая способность анкера принимается по выражению (5):

$$R_a = R_s + R_c, \quad (5)$$

где R_a – расчетная несущая способность анкера, кН;

R_s – составляющая несущей способности, определяемая сопротивлением анкерного стержня, кН;

R_c – составляющая несущей способности, определяемая сцеплением анкера с породным массивом, кН.

При расчете учитывались диаметр, длина закрепления, предел текучести стали и сцепление с вмещающими породами.

Допустимый шаг установки определяется по выражению (6):

$$S = \sqrt{\frac{R_a}{P_a}}, \quad (6)$$

где S – максимально допустимый шаг установки анкеров в продольном направлении выработки, м;

R_a – расчетная несущая способность одного анкера, кН;

P_a – расчетная погонная нагрузка, приходящаяся на одну анкерную линию, кН/м.

Для условий бассейна рациональный шаг составляет 0,8–1,2 м.

Результаты

Расчеты выполнены для подготовительных выработок шириной 4,8–5,2 м. Полученные параметры сопоставлены с наблюдаемыми деформациями и условиями эксплуатации в Карагандинском угольном бассейне.

Расчетные параметры и устойчивость кровли.

Высота свода естественного равновесия составляет 1,3–2,2 м. Рост коэффициента структурной нарушенности от 0,28 до 0,44 увеличивает ее на 34–41%. Для алевролитов и аргиллитов переход к неустойчивому состоянию наиболее вероятен на глубинах свыше 400–480 м; анкерование должно объединять не менее трех слоев кровли [6].

Рациональная длина анкеров составляет 2,0–2,4 м в устойчивых зонах и 2,4–2,6 м в слабых алевролитовых горизонтах. Увеличение длины от 1,6 до 2,4 м снижает раскрытие межслоевых трещин в среднем на 38%.

В двухуровневой системе верхний горизонт воспринимает около 70% суммарной нагрузки, нижний – около 30% и фиксирует слабые контакты. Оптимальный шаг составляет 0,8–1,2 м, а в зонах повышенного давления уменьшается до 0,8–0,9 м [7].

Сравнение одноуровневой и двухуровневой систем.

Одноуровневое анкерование отличается простотой монтажа, однако снижает деформации кровли только на 14–21% и не ограничивает развитие глубинных трещин.

Двухуровневая система снижает раскрытие трещин на 32–45%, прогиб кровли на 26–38% и вероятность разрушения в 2,6–3,1 раза. При высоте свода более 1,3 м ее следует рассматривать как обязательное решение [8].

Работа крепи в зоне влияния очистных работ.

На расстоянии 20–50 м от очистного забоя нагрузка на кровлю возрастает на 35–50%, межслоевое сцепление снижается на 20–30%, а смещения увеличиваются на 30–40%. При двухуровневом анкерировании раскрытие контактов ограничивается 8–12 мм вместо 20–28 мм, а прогиб кровли – 22–30 мм вместо 40–55 мм при одноуровневой схеме. Критическое состояние массива при этом не достигается.

Рекомендуемые параметры.

Параметры крепи дифференцированы по устойчивости кровли и уровню горного давления. Для участков с устойчивой кровлей допускаются анкеры длиной 1,8–2,0 м при шаге 1,0–1,2 м. При подтвержденной однородности массива может применяться одноуровневая схема. В слоистых и слабоустойчивых зонах рекомендуются анкеры длиной 2,2–2,4 м при шаге 0,9–1,1 м. Крепление должно выполняться по двухуровневой схеме с фиксацией слабых межслоевых контактов.

В зонах повышенного опорного давления и подработанных массивах рациональны анкеры длиной 2,4–2,6 м при шаге 0,8–0,9 м. Повышенная плотность установки необходима для восприятия неравномерных и динамических нагрузок.

Включение 3–4 слоев кровли в совместную работу снижает деформации в 1,5–2 раза и обеспечивает соответствие несущей способности крепи расчетной нагрузке.

Обсуждение результатов

Полученные результаты показывают, что устойчивость кровли определяется не только прочностью отдельных слоев, но прежде всего состоянием межслоевых контактов. Одноуровневая крепь удерживает поверхностную часть массива, тогда как двухуровневая система связывает слабые контакты с устойчивыми горизонтами: короткие сталеполимерные анкеры формируют армированную балку, а канатные анкеры передают нагрузку в глубину. Такой механизм обеспечивает совместную работу 3–4 слоев и

соответствует современным представлениям об управлении слоистой кровлей [5, 9].

Критическими параметрами являются длина и шаг анкеров. Закрепление в устойчивом слое при длине 2,0–2,6 м ограничивает раскрытие трещин, а шаг 0,8–1,0 м обеспечивает равномерное распределение усилий. Увеличение шага до 1,2–1,3 м повышает деформации на 18–24%. Натурные наблюдения подтверждают, что двухуровневая система устойчивее к динамическим нагрузкам, подработке и изменению водонасыщения пород, а вероятность аварийных проявлений снижается примерно в 2,5–3 раза [10].

При одноуровневом анкероании закрепляется преимущественно приконтурный слой, поэтому раскрытие глубинных контактов продолжается даже при удовлетворительном состоянии поверхности кровли. Двухуровневое крепление создает связанную систему: первый уровень формирует жесткую армированную балку, второй передает усилия за пределы нарушенной зоны. Такое распределение препятствует развитию клина отрыва и снижает концентрацию касательных напряжений на границах слоев.

Увеличение длины анкеров с 1,8 до 2,4 м обеспечивает закрепление в более устойчивом горизонте и уменьшает раскрытие трещин на 35–40%. Анкеры короче 1,8 м не пересекают наиболее слабые контакты, расположенные на глубине 1,2–1,8 м, поэтому их применение на глубоких горизонтах не обеспечивает требуемого запаса устойчивости.

Шаг установки определяет равномерность передачи нагрузки. Интервал 0,8–1,0 м компенсирует локальную неоднородность пород и ограничивает развитие участков повышенной деформации. При увеличении шага до 1,2–1,3 м возрастает прогиб кровли и снижается эффективность совместной работы анкеров, особенно в зоне влияния очистного забоя.

При динамических воздействиях, подработке и изменении направления опорного давления одноуровневая схема характеризуется нелинейным ростом смещений. В двухуровневой системе нагрузка перераспределяется между горизонтами крепи, поэтому локальное ослабление отдельного слоя не приводит к немедленной потере устойчивости всей кровли.

Сопоставление расчетов с натурными наблюдениями подтверждает устойчивость предложенных диапазонов длины и шага анкеров. Улучшение состояния кровли наблюдается также при изменении влажности и водонасыщения пород; одновременно ограничиваются боковые смещения в зоне сопряжения «кровля – бок», что повышает общую эксплуатационную надежность выработки.

Практическое применение результатов предполагает предварительное уточнение литологического строения кровли, глубины слабых контактов и фактических смещений на конкретном участке. Расчетные параметры должны проверяться инструментальным контролем после установки крепи. При выявлении роста расслоений, изменения водонасыщения или увеличения зоны опорного давления длина и плотность анкеров корректируются без изменения общей двухуровневой концепции.

Заключение

Для выработок шириной 4,8–5,2 м высота свода естественного равновесия составляет 1,3–2,2 м; доминирую-

щим механизмом потери устойчивости является межслоевой сдвиг в алевролито-аргиллитовых породах.

Рациональная длина анкеров составляет 1,8–2,6 м, при этом в слабых и подработанных зонах следует применять диапазон 2,2–2,6 м. Оптимальный шаг установки равен 0,8–1,2 м и уменьшается до 0,8–0,9 м при повышенном горном давлении.

Двухуровневая система обеспечивает снижение раскрытия трещин на 32–45%, прогиба кровли на 26–38% и вероятности разрушения в 2,6–3,1 раза. Одноуровневая схема допустима только при мощной однородной и умеренно трещиноватой кровле.

Предложенный расчетный подход учитывает структуру массива, положение слабых контактов, глубину разработки и действующую нагрузку. Он может применяться при разработке паспортов крепления и выборе параметров анкерования для конкретных участков шахт Карагандинского угольного бассейна.

Одноуровневое анкерование целесообразно только в мощных однородных слоях при умеренной трещиноватости. В слоистых породах оно не фиксирует глубинные контакты и не обеспечивает устойчивость при росте опорного давления.

Минимальный шаг 0,8–0,9 м рекомендуется в зоне влияния очистных работ и на участках повышенного горного давления. Увеличение шага до 1,3 м сопровождается ростом деформаций кровли на 18–24%.

Расчетная нагрузка на один анкер изменяется в пределах 30–85 кН. При снижении прочности пород ниже 25–30 МПа нагрузка возрастает на 40–50%, что требует применения двухуровневой схемы и закрепления в устойчивом горизонте.

В зоне влияния очистных работ двухуровневая крепь ограничивает раскрытие трещин величиной 8–12 мм и прогиб кровли 22–30 мм. Эти значения соответствуют устойчивому состоянию массива при действии статических и динамических нагрузок.

Разработанная методика может использоваться при проектировании паспортов крепления, поскольку объединяет расчет высоты нарушенной зоны, проверку несущей способности и выбор шага анкеров. Входными параметрами являются ширина выработки, структурная нарушенность, мощность и прочность слоев, положение ослабленных контактов и расчетная нагрузка.

Промышленное применение требует контроля фактической работы крепи на опытном участке. Сопоставление расчетных и измеренных смещений позволяет уточнить коэффициент структурной нарушенности и адаптировать параметры для других выработок шахтного поля. Такой порядок снижает риск необоснованного уменьшения длины анкеров и обеспечивает технологически управляемый переход от одноуровневой к двухуровневой схеме.

Благодарность

Данное исследование выполнено при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования по реализации научной и научно-технической программы ИПН BR24992803.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Исследование условий динамических разрушений в массивах скальных пород / Э. В. Каспарьян [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 4. – С. 69–84 (на русском языке)
2. Голик В. И. Подземная разработка месторождений. – М.: ИНФРА-М, 2025. – 117 с. (на русском языке)
3. Обеспечение безопасного геомеханического состояния массива пород вокруг горных выработок Карагандинского угольного бассейна / N. Zholmagambetov [и др.] // Mining of Mineral Deposits. – 2023. – Т. 17. – № 1. – С. 74–83 (на английском языке)
4. Применение горно-геофизических методов для решения геологических задач / А. В. Садчиков [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 6. – С. 109–124 (на русском языке)
5. Brady B. H. G., Brown E. T. Механика горных пород при подземной разработке месторождений. – Springer, 2013. – 640 с. (на английском языке)
6. Инициирование и распространение горно-индуцированных трещин при подземной добыче угля в лессово-балочном регионе / W. Bai [и др.] // Scientific Reports. – 2025. – Т. 15. – Ст. 8867 (на английском языке)
7. Cao R., Cao P., Lin H. Технология крепления глубоких горных выработок при высоком напряженном состоянии // International Journal of Mining Science and Technology. – 2016. – Т. 26. – № 5. – С. 787–793 (на английском языке)
8. Cui Z., Sheng Q., Leng X. Влияние геологического разрыва на сейсмическую устойчивость подземной каверны // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. – 2018. – Т. 77. – С. 265–282 (на английском языке)
9. Геомеханические условия проведения пересекающих горных выработок / Г. Д. Танекеева [и др.] // Уголь. – 2023. – № 2. – С. 31–33 (на русском языке)
10. Повышение эффективности бурильных работ при анкерном креплении горных выработок угольных шахт / А. Б. Ефременков [и др.] // Техника и технология горного дела. – 2022. – № 4 (19). – С. 62–72 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Жартас массивтеріндегі динамикалық бұзылу жағдайларын зерттеу / Э. В. Каспарьян [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. – 2020. – № 4. – Б. 69–84 (орыс тілінде)
2. Голик В. И. Кен орындарын жерасты тәсілімен игеру. – М.: ИНФРА-М, 2025. – 117 б. (орыс тілінде)
3. Қарағанды көмір бассейніндегі тау-кен қазбаларын қоршаған жыныс массивінің қауіпсіз геомеханикалық жағдайын қамтамасыз ету / N. Zholmagambetov [және т. б.] // Mining of Mineral Deposits. – 2023. – Т. 17. – № 1. – Б. 74–83 (ағылшын тілінде)
4. Геологиялық міндеттерді шешуде тау-кен-геофизикалық әдістерді қолдану / А. В. Садчиков [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. – 2025. – № 6. – Б. 109–124 (орыс тілінде)
5. Brady B. H. G., Brown E. T. Жерасты кен өндірудегі тау жыныстары механикасы. – Springer, 2013. – 640 б. (ағылшын тілінде)
6. Лесс-жырала аймақта жерасты көмір өндіру кезіндегі тау-кен әсерінен туындайтын жарықтардың басталуы мен таралуы / W. Bai [және т. б.] // Scientific Reports. – 2025. – Т. 15. – 8867 (ағылшын тілінде)
7. Cao R., Cao P., Lin H. Жоғары кернеулі жағдайдағы терең тау-кен қазбаларын бекіту технологиясы // International Journal of Mining Science and Technology. – 2016. – Т. 26. – № 5. – Б. 787–793 (ағылшын тілінде)
8. Cui Z., Sheng Q., Leng X. Геологиялық жарылымның жерасты қуысының сейсмикалық тұрақтылығына әсері // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. – 2018. – Т. 77. – Б. 265–282 (ағылшын тілінде)
9. Қиылысатын тау-кен қазбаларын жүргізудің геомеханикалық жағдайлары / Г. Д. Танекеева [және т. б.] // Уголь. – 2023. – № 2. – Б. 31–33 (орыс тілінде)
10. Көмір шахталарында қазбаларды анкерлік бекіту кезіндегі бұрғылау жұмыстарының тиімділігін арттыру / А. Б. Ефременков [және т. б.] // Тау-кен ісінің техникасы мен технологиясы. – 2022. – № 4 (19). – Б. 62–72 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Issledovanie uslovii dinamicheskikh razrushenii v massivakh skal'nykh porod [Investigation of dynamic failure conditions in rock masses] E. V. Kasparyan et al. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining Informational and Analytical Bulletin]. – 2020. – No. 4. – P. 69–84 (in Russian)
2. Golik V. I. Podzemnaia razrabotka mestorozhdenii [Underground Mining of Mineral Deposits]. – Moscow: INFRA-M, 2025. – 117 p (in Russian)

3. *Ensuring a safe geomechanical state of the rock mass surrounding mine workings in the Karaganda Coal Basin* / N. Zholtmagambetov et al. // *Mining of Mineral Deposits*. – 2023. – Vol. 17. – No. 1. – P. 74–83 (in English)
4. *Primenenie gorno-geofizicheskikh metodov dlya resheniya geologicheskikh zadach [Application of mining-geophysical methods to geological problems]* A. V. Sadchikov et al. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Informational and Analytical Bulletin]. – 2025. – No. 6. – P. 109–124 (in Russian)
5. Brady B. H. G., Brown E. T. *Rock Mechanics for Underground Mining*. – Springer, 2013. – 640 p. (in English)
6. *Initiation and propagation of mining-induced fractures during underground coal mining in a loess-gully region* / W. Bai et al. // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15. – Article 8867 (in English)
7. Cao R., Cao P., Lin H. *Support technology for deep roadways under high-stress conditions and its application* // *International Journal of Mining Science and Technology*. – 2016. – Vol. 26. – No. 5. – P. 787–793 (in English)
8. Cui Z., Sheng Q., Leng X. *Effect of a controlling geological fault on the seismic stability of an underground cavern* // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. – 2018. – Vol. 77. – P. 265–282 (in English)
9. *Geomekhanicheskie usloviia provedeniia pereseikaiushchikh gornykh vyrabotok [Geomechanical Conditions for Driving Intersecting Mine Workings]* G. D. Tanekeeva et al. *Ugol'* [Coal]. – 2023. – No. 2. – P. 31–33 (in Russian)
10. *Povyshenie effektivnosti buril'nykh rabot pri ankernom kreplenii gornykh vyrabotok ugol'nykh shakht [Improving drilling efficiency during rock-bolt support installation in coal-mine roadways]* A. B. Efremkov et al. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela [Mining Equipment and Electromechanics]*. – 2022. – No. 4 (19). – P. 62–72 (in Russian)

Сведения об авторах:

Замалиев Н. М., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), nailzamaliyev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0628-2654>

Долгонос В. Н., доктор технических наук, доцент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), vnd070765@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8110-2284>

Шмидт-Федотова И. М., доктор Ph.D, преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), irinka.shmidt@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9984-4761>

Шулепин А. Н., студент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), shulepin_an@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-0750-564X>

Авторлар туралы мәліметтер:

Замалиев Н. М., Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Долгонос В. Н., техника ғылымдарының докторы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Шмидт-Федотова И. М., Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Шулепин А. Н., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының студенті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Zamaliyev N. M., Ph.D, Associate Professor of the Department of Mining Engineering, Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Dolgonosov V. N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Schmidt-Fedotova I. M., Ph.D, Lecturer at the Department of Mining Engineering, Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Shulepin A. N., Student of the Department of Mining Engineering, Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)